

노드 확장에 따른 SMPS의 전도성 이미션 감소

이희훈, 배병현, 김영삼, 권영안

부산대학교

Conducted Emission Reduction of SMPS by Expanded Node

H. H. Lee, B. H. Bae, Y. S. Kim and Y. A. Kwon
Pusan National University

Abstract - SMPS는 신속한 스위칭에 의하여 높은 dv/dt 및 di/dt 특성을 가지며, 이러한 스위칭 특성으로 SMPS에서 발생하는 EMI 노이즈는 기기 내부 및 외부에 간섭을 일으킨다. 일반적으로 전자파 이미션은 전도성 이미션 및 방사성 이미션으로 분류되며, 전도성 이미션은 공통모드와 차동모드로 구분한다. 최근, 노이즈 전류를 평형시킴으로써 공통모드 노이즈를 감소시키는 방법이 연구되었다. 이 방법은 공통모드 노이즈가 시스템 불균형의 결과라는 측면을 고려한 것이며, 노이즈 전류의 평형상태에서 컨버터를 동작시키면 공통모드 노이즈가 크게 줄어들 수 있음을 보여준다. 본 논문에서는 절연형 SMPS에서 노이즈 전류의 평형기법을 이용하여 SMPS의 1차 및 2차 측의 노드 확장에 따른 노이즈 감소를 분석한다.

1. 서 론

대부분의 전기전자시스템에 내장되는 전원장치의 고유 기능은 일정하고 반복적인 전원을 회로에 공급하는 것이다. 외부 전력계통과 회로사이의 매개장치로써 동작한다. 일반적으로 선형 전원장치는 30~60%의 낮은 효율을 가지는 반면에, 스위치모드 전원장치(SMPS)는 70~90%의 높은 효율을 가진다[1]. 그러나, 높은 효율을 나타내는 SMPS에서 전력소자의 스위칭은 광범위한 간섭스펙트럼을 발생한다[2]. 일반적인 SMPS 스위칭에서 급격한 전압변화 및 전류변화 때문에 고주파 영역의 고조파에 상당히 높은 에너지레벨을 포함하게 되며, SMPS를 내장한 전기전자장치는 자체 시스템뿐만 아니라 주변장치의 동작에도 EMI 원인이 된다[3,4]. 본 논문에서는 전기전자장치 EMI의 주요 원인이 되는 SMPS에서 전도성 이미션을 체계적으로 분석하고 SMPS의 노드 확장에 따른 이미션 감소를 연구한다.

전도성 이미션은 결합경로에 따라 공통모드(common mode, CM) 및 차동모드(differential mode, DM)로 구분하며, SMPS의 노이즈 감소를 위한 EMI 필터에서 회로구성 소자는 CM 또는 DM에 영향을 준다. 효과적인 노이즈 진단 및 감소를 위해서 노이즈 분리기를 사용한 CM 및 DM의 분리방법이 제안되었으며[5], 규정된 주파수범위 내에서 지배적인 노이즈 성분과 관련된 필터 소자를 조정하는 체계적인 필터 설계방법이 제시되었다[6,7]. 이러한 방법은 체계적이고 효과적이지만 추가적인 소자가 요구되는 방법이며 20MHz 이상의 고주파 대역에서 발생하는 노이즈는 제외하고 있다. 최근, 노이즈 전류를 평형 시켜줌으로써 CM 노이즈를 감소시키는 방법이 연구되었다[8]. 이 방법은 CM 노이즈가 시스템 불균형의 결과로서 노이즈 전류의 평형상태에서 회로를 동작시키면 노이즈가 크게 감소됨을 보여준다. 그리고 이 방법은 노이즈 소스를 감소시키는 방법이므로 가장 근본적인 노이즈 대책에 해당하며, SMPS에서 대부분의 경우 고주파대역과 직결되는 노이즈 성분은 CM 노이즈

이므로[9] 고주파대역에서의 효과적인 노이즈 대책이라 할수 있다.

본 논문에서는 절연형 SMPS에서 상기한 노이즈 전류의 평형기법을 이용하여 SMPS의 1차 및 2차 측의 노드 확장에 따른 CM 노이즈 감소를 분석한다. 이를 위해, SMPS의 적용사례로써 다양한 PCB 패턴의 포워드 컨버터를 제작하고 실험을 수행하였다.

2. 전도성 이미션

2.1 공통모드 및 차동모드

전자파 적합성(EMC)은 외부장비에 미치는 영향정도를 살펴보는 전자파 이미션(EME)과 외부장비 노이즈에 대한 내성정도를 살펴보는 전자파 수용성(EMS)으로 구분한다. 그리고 EME는 전원선을 통해 전달되는 전도성 이미션과 공중으로 전달되는 방사성 이미션으로 구분되며, 전도성 이미션은 노이즈 전류의 결합경로에 따라 공통모드 및 차동모드로 구분된다.

전도성 이미션을 제한하는 목적은 전기전자장치로부터 외부 전력계통에 전달되는 노이즈전류를 감소함으로써 외부 장비에 미치는 영향을 제한하기 위함이다. 따라서 전도성 이미션의 영향을 진단하기 위해서는 전기전자장치의 외부 전원코드를 통과하는 노이즈전류를 측정한다. 전도성 이미션의 측정은 간단하게 전원코드를 통과하는 노이즈전류를 전류프루브로 측정하면 측정 장소에 따라 측정결과가 달라지므로 각 규격에서는 사용하지 않는다. 그럼 1은 본 논문에서 수행하는 단상 3선식 전원연결에서 노이즈 측정시스템의 구성도를 나타낸다.

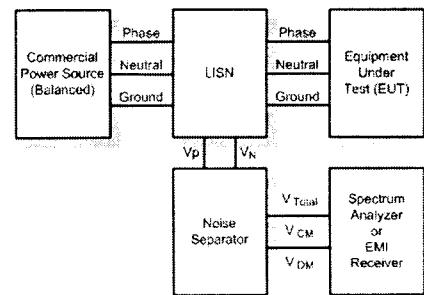


그림 1 전도성 이미션 측정시스템 구성도

단상 3선식 전원연결에서 CM은 상전선 및 중성선에서 접지선으로 흐르는 결합경로이며, DM은 상전선에서 중성선으로 흐르는 경로를 구성한다. CM 노이즈는 기생 커캐시터를 통해 흐르는 변위전류가 주된 원인이며, DM 노이즈는 스위칭소자의 맥동 중에 필터링되지 않은 부분이 원인이 된다[7].

그림 1에서 LISN(Line Impedance Stabilization Network)의 사용목적은 노이즈에 영향을 주는 시험장소의 임피던스가 시험장소에 상관없이 일정하도록 상전선과 접지선 사이 및 중성선과 접지선 사이에 일정한 임피던스를 제공하고, 피복장비의 노이즈만을 측정하기 위하여 외부노이즈를 차단하는 것이다. 전도성 이미션은 각 규격에서 요구하는 시험 주파수 범위에 대하여 이 두 가지가 만족되는 환경에서 측정되어야 한다.

그림 2는 시험 주파수 범위에서 전도성 이미션 해석을 간단하게 하기 위한 노이즈 등가회로를 나타낸다.

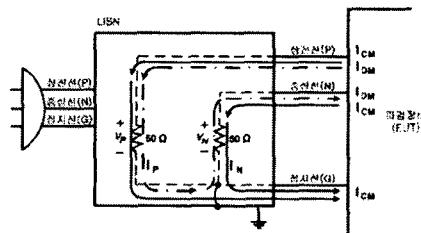


그림 2 LISN의 노이즈 등가회로

노이즈 제한에 관련된 규격의 부합여부를 확인하기 위해 50Ω 저항의 양단전압 \hat{V}_P 와 \hat{V}_N 을 측정하며, 음의 법칙에 의해 노이즈 전류 \hat{I}_P 와 \hat{I}_N 은 다음과 같다.

$$\hat{V}_P = 50 \hat{I}_P \quad (1)$$

$$\hat{V}_N = 50 \hat{I}_N \quad (2)$$

여기서 ^은 페이저를 나타낸다.

그림 2의 등가회로에서 노이즈 전류와 CM 및 DM 전류의 관계는 다음과 같다.

$$\hat{I}_P = \hat{I}_C + \hat{I}_D \quad (3)$$

$$\hat{I}_N = \hat{I}_C - \hat{I}_D \quad (4)$$

식(3) 및 식(4)에서 노이즈전류는 CM 및 DM 전류의 합이나 차로서 나타난다. 그러나 일반적으로 노이즈 전류는 그림 3과 같이 특정 구간에서 CM 및 DM 전류의 한 성분이 다른 성분을 지배하게 된다[1]. 이것은 효과적으로 노이즈를 감소시키기 위해서는 CM 및 DM 성분을 분리하여 그 주파수에서 지배적인 성분을 확인하고 이를 감소시켜야 함을 의미한다.

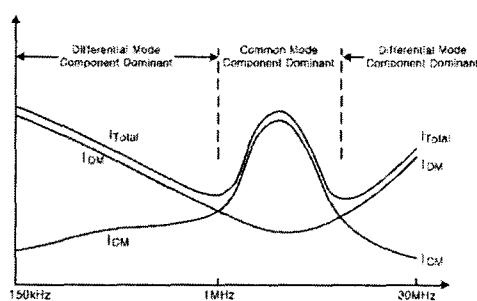


그림 3 지배적인 노이즈 성분

2.2 전도성 이미션 제한

유무선통신에 관련된 간섭발생이 증가함에 따라, 전자파 환경오염을 제한하기 위해 유럽과 미국 등지에서는 구체적인 노이즈 수치와 측정방법을 포함하는 CISPR

및 FCC 등의 규격이 제정되었다.

CISPR와 FCC 전도성 이미션 제한은 전압단위로 되어있다. 이것은 2.1절에서 기술한 바와 같이 시험장소에 관계없이 일정한 임피던스를 제공하는 LISN을 전기전자장치의 외부 전원코드에 직렬로 연결하여 시험하기 때문이다. 각 전압은 CISPR에서 150KHz-30MHz, FCC에서 450KHz-30MHz의 주파수범위에 대해 측정되어야 하며, 측정전압은 그림 4의 제한을 초과하지 않아야 한다. 그림 4에서 CISPR의 QP 및 AV는 노이즈의 quasi-peak 및 평균치이다.

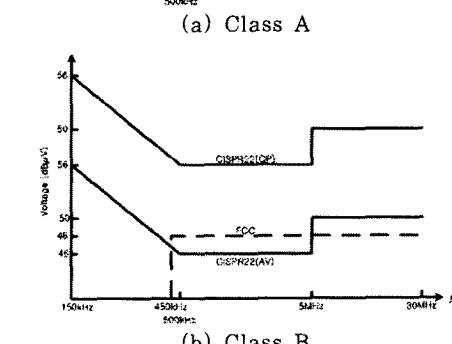
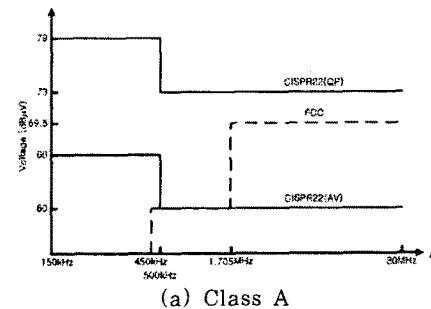


그림 4 CISPR와 FCC에서 전도성 이미션 제한

3. SMPS에서 노이즈 감소

전도성 이미션의 효과적인 노이즈 진단 및 감소를 위해서 노이즈 분리기를 사용한 CM 및 DM의 분리방법, 지배적인 노이즈 성분과 관련된 필터소자를 조정하는 체계적인 EMI 필터 설계방법, 노이즈전류를 평형시킴으로써 CM 노이즈를 감소시키는 방법 등이 연구되었다. 본 논문에서는 절연형 SMPS에서 노이즈 전류의 평형기법을 근거로 하여 SMPS에서 1차 및 2차 측의 노드 확장에 따른 CM 노이즈 감소를 분석한다.

전형적인 SMPS에서 전도성 이미션 중 CM 노이즈가 지배적이므로 CM 노이즈가 억제될 수 있다면 전체 노이즈를 크게 감소시킬 수 있다.

본 논문에서 사용하는 포워드 컨버터에서 전도성 이미션의 CM 및 DM 경로는 그림 5와 같이 고려하였다. 스위칭 소자와 그라운드 사이의 기생커패시턴스 C_g , 다이오드소자와 그라운드사이의 기생커패시턴스 C_d , 변압기 내부권선 커패시턴스 C_i 외에 1차 및 2차 측 각 노드와 그라운드 사이의 기생커패시턴스 C_1, C_2, C_3, C_4 가 고려된다. 그림 5에서 외부에 전달되는 CM 노이즈를 감소시키기 위해서는 LISN의 저항에 흐르는 전류를 억제해야 한다. LISN의 저항을 흐르는 전류 \hat{I}_o 는 키르히호프 전류법칙에 의해 다음과 같다.

$$\hat{I}_o = \hat{I}_q + \hat{I}_d + \hat{I}_1 + \hat{I}_2 + \hat{I}_3 + \hat{I}_4 \quad (5)$$

여기서 \hat{I}_o 를 감소시키기 위해서 $\hat{I}_q, \hat{I}_d, \hat{I}_1, \hat{I}_2, \hat{I}_3, \hat{I}_4$ 를

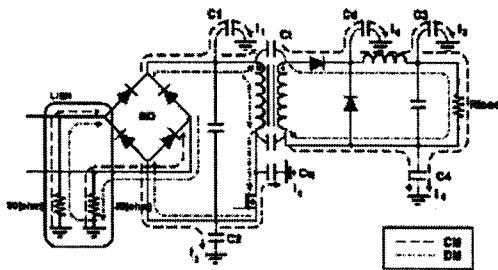


그림 5 CM 및 DM의 경로

저감해야 하므로 노이즈 전류에 비례하는 기생 커패시턴스 $C_a, C_d, C_1, C_2, C_3, C_4$ 를 감소하는 방안이 있으나 항상 효과적이지는 않다. 대안으로 회로 밖으로 흘러나오는 CM 전류노이즈 전류를 평형기법에 의하여 최소화하는 방안이 제시되었다. 그림 5의 SMPS에서 각 노이즈 전류의 위상이 다르면 서로 상쇄될 수 있다. 즉, 노이즈 전류의 평형상태에서 컨버터를 동작시키면 CM 노이즈는 크게 줄어들 수 있으며, 노이즈소스를 감소시키는 방법으로서 가장 근본적인 대책이 된다. 본 논문에서는 이 방법을 근거로 하여 SMPS에서 1차 및 2차 측의 노드 확장에 따른 CM 노이즈를 감소한다.

4. 적용사례 및 검토

본 논문에서는 적용사례로서 50W급 포워드 컨버터를 제작하여 적용한다. 포워드 컨버터에서 전도성 이미션을 감소하기 위하여 EMI 필터를 설계하고 노이즈전류 평형기법에 따라 PCB 패턴을 제작하였다. 구조적인 영향성을 배제하기 위해 소자, 레이아웃, 방열판 및 프레임을 동일하게 적용하고, 변압기와 인덕터는 장착이 가능하도록 제작하여 반복하여 적용하였다. 그림 6은 1차 및 2차 측의 (+)노드면적을 확대한 패턴이며, 그림 7은 필터 없는 기준패턴과 그림6의 노드확장 패턴에서 노이즈 스펙트럼을 나타낸다. 그림 7에서 필터 및 노드확장에 의해 노이즈가 크게 감소함을 잘 보여준다.

5. 결 론

고효율과 소형경량의 장점을 갖는 SMPS는 스위칭을 통해 전력을 변환하는 고유의 메카니즘에 의해 높은 dv/dt 및 di/dt 특성을 가진다. 이로 인해 발생하는 고조파는 매우 높은 에너지레벨을 포함하며, SMPS를 내장한 전기전자장치는 주변장치의 동작에 간섭을 일으키게 된다. 본 논문에서는, 스위칭소자와 방열판 사이의 기생성분뿐만 아니라 모든 노드의 기생 커패시턴스를 함께 고려하여 CM 노이즈 평형에 적용하였다. 전도성 노이즈에 지배적인 영향을 미치는 CM 노이즈가 SMPS를 벗어나지 않도록 PCB 노드를 설계하고 기생 커패시턴스의 임피던스를 평형시킴으로써 전도성 이미션을 감소하였다. 본 논문은 공통모드 노이즈가 시스템 불평형의 결과라는 측면을 고려하였으며, 노드확장에 따른 노이즈 전류의 평형상태에서 CM 노이즈가 크게 줄어들 수 있음을 입증하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] C.R.Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, 1992
- [2] K.H.Billings, *Switchmode Power Supply Handbook*, McGraw-Hill, 1999
- [3] N.Mohan, T.M.Undeland, and W.P.Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, John Wiley & Sons, 2003

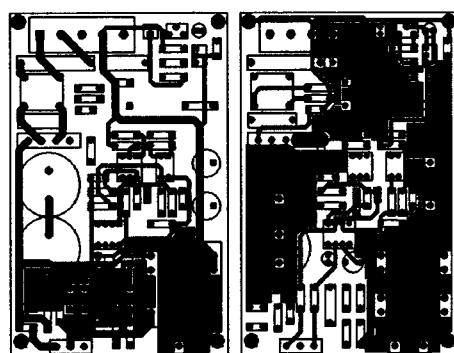
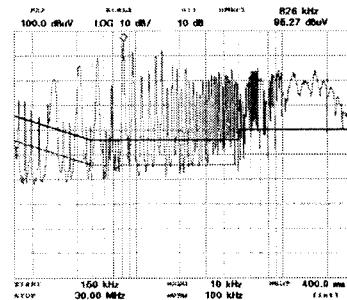
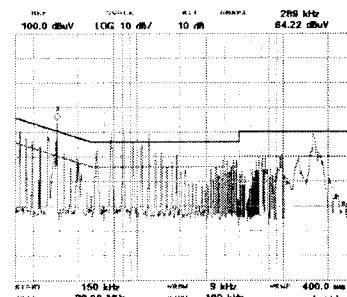


그림 6 1차 및 2차 측의 (+)노드 확장 패턴
(a) 전면 (b) 후면



(a) 필터 없는 기준패턴



(b) 필터 포함하는 1차 및 2차 측 (+)노드 확장 패턴
그림 7. 노이즈 스펙트럼

- [4] H.W.Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons, 1988
- [5] T.Guo, D.Y.Chen and F.C.Lee, "Separation of the Common Mode and Differential Mode Conducted EMI Noise," *Power Electronics*, IEEE, PE-11, No.30, pp.480-488, 1996
- [6] F.U.Shih, D.Y.Chen, Y.P.Wu and Y.T.Chen, "A Procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications," *IEEE*, PE-11, No.1, pp.70-181, 1996
- [7] T.Guo, D.Y.Chen and F.C.Lee, "Separation of the Common Mode and Differential Mode Conducted EMI Noise," *Power Electronics*, IEEE, PE-11, No.30, pp.480-488, 1996
- [8] W.Xin, N.K.Poon, C.M.Lee, M.H.Pong and Z.Qian, "A Study of Common Mode Noise in Switching Power Supply from a Current Balancing Viewpoint," *IEEE/PEDS*, pp.621-625, 1999
- [9] L.Tihanyi, *Electromagnetic Compatibility in Power Electronics*, IEEE Press, 1995